Québec

Note de recherche forestière n° 122

Le réseau d'étude et de surveillance des écosystèmes forestiers québécois

Catherine PERIÉ et Rock OUIMET

F.D.C. 181.4(047.3)(714)
L.C. SD 387.E58

Résumé

La forêt québécoise représente 2 % de l'ensemble des forêts mondiales. Plus de la moitié de la forêt québécoise se situe en forêt boréale et représente près de 10 % de la forêt boréale mondiale. Suivre l'état de santé de cette forêt est donc d'une très grande importance de par sa représentativité, mais également parce que la forêt boréale est très vulnérable aux changements environnementaux.

À la fin des années 1980, le gouvernement québécois s'inquiétait du dépérissement des érablières et décidait de mettre en place un réseau d'étude et de surveillance de la forêt québécoise commerciale, le RESEF. Ce réseau est actuellement composé de 30 stations dispersées dans les principaux écosystèmes de la forêt québécoise. Installées de façon permanente sur l'ensemble du territoire forestier commercial et réparties dans diverses régions écologiques, ces stations sont situées dans des zones protégées; aucune intervention humaine autre que la récolte d'échantillons à des fins de recherche n'y est autorisée.

Un ensemble de variables caractéristiques des différents compartiments de l'écosystème forestier sont périodiquement mesurées. On peut par exemple citer des inventaires phytoécologiques ou de régénération, des mesures dendrométriques, des analyses foliaires ou encore des mesures de fertilité des sols. Cette cueillette régulière de données permet de documenter les caractéristiques intrinsèques de chaque écosystème et d'étudier leur dynamique naturelle. Elle permet également d'évaluer l'impact des changements environnementaux, comme les changements climatiques ou la chimie des dépôts atmosphériques, sur l'évolution de ces écosystèmes naturels.

Les chercheurs associés au réseau ont montré que plus de la moitié des stations du RESEF reçoivent des dépôts atmosphériques acides qui dépassent la capacité des sols à les tamponner. Les résultats sont discutés en regard de la fertilité naturelle des stations et des charges d'acidité.

Mots clés : monitorage, suivi dans le temps, écosystèmes forestiers.

Abstract

Québec has 2% of the world's forests, of which more than half are located in the boreal forest. Québec's boreal zone makes up almost 10% of the world's boreal forest. Therefore, monitoring the health of this forest is of great importance because of its representativeness, and also because the boreal forest is very vulnerable to environmental changes.

At the end of the 1980s, the Québec government was concerned about maple dieback, and decided to establish a research and monitoring network (RESEF) in the commercial forest range in Québec. This network is now composed of 30 research plots spread throughout Québec's principal forest ecosystems. Permanently established in the commercial forest area and present in many ecological regions, the plots are placed in protected zones; no human intervention other than harvesting samples for research purposes is authorized.

A set of variables that are characteristic of different forest ecosystem attributes are measured periodically. Examples are phytoecological and regeneration inventories, dendrometric attributes, foliar analyses and soil fertility measurements. Regular gathering of data allows for the documentation of characteristics that are intrinsic to each ecosystem and the study of their natural dynamics. It also permits the monitoring of the impact of environmental changes on the evolution of these natural ecosystems, such as climate change or the chemistry of atmospheric depositions.

Researchers working at the network have shown that more than half the RESEF plots receive acidic atmospheric depositions that surpass the buffering capacity of the soil. The results are discussed with regard to the natural fertility of the plots and the acid load.

Keywords : Monitoring, temperate and boreal forest, forest ecosystems.

Direction de la recherche forestière
2700, rue Einstein
SAINTE-FOY (Québec) G1P 3W8 Canada

Téléphone : (418) 643-7994
Télécopieur : (418) 643-2165
Courriel : recherche.forestiere@mrnfp.gouv.qc.ca

Ce texte est la version intégrale du mémoire présenté par les auteurs au XII[e] Congrès forestier mondial de septembre 2003 à Québec, Canada.

Les versions française et anglaise du mémoire original sont aussi disponibles en format PDF à l'adresse suivante :

Original text in english is also available in PDF form on web site :

http://www.mrnfp.gouv.qc.ca/alias/cfm2003.html

104-02193/

Introduction

« Renforcer le bien-être des populations en pratiquant une gestion durable des arbres et des forêts du monde », telle est la mission que s'est donnée l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Pour répondre à un tel objectif, la connaissance des caractéristiques intrinsèques des écosystèmes forestiers mondiaux est primordiale, de même que la connaissance des impacts de l'activité humaine sur ces écosystèmes.

La forêt québécoise représente 2 % de l'ensemble des forêts mondiales. Plus de la moitié de la forêt québécoise se situe en forêt boréale et représente près de 10 % de la forêt boréale mondiale. Suivre l'état de santé de cette forêt est donc d'une très grande importance de par sa représentativité, mais également parce que la forêt boréale est vulnérable aux changements environnementaux, notamment aux changements climatiques et à la pollution atmosphérique. À la fin des années 1980, en raison des préoccupations et des engagements du gouvernement du Québec et de l'industrie forestière face aux stress environnementaux et à l'aménagement forestier durable, un réseau a été mis en place pour réaliser le suivi de l'état de santé des écosystèmes forestiers (RESEF). Sa principale vocation est de recueillir une information objective et à long terme sur le climat, le statut nutritif des peuplements forestiers ainsi que la qualité de l'air. Par ce suivi, les forestiers veulent être capables de détecter des changements à long terme d'un certain nombre de paramètres clés, de déterminer l'amplitude de ces changements ainsi que les impacts qu'ils pourraient avoir sur l'état de santé de la forêt québécoise. Ce réseau est un réseau de placettes permanentes d'une durée de vie d'au moins 30 ans. Les premières places d'étude ont été installées en 1987, à la suite de l'observation du dépérissement des érablières dans le sud du Québec. Depuis, de nouvelles places d'étude sont régulièrement ajoutées au réseau, qui en compte actuellement 30 en opération, établies partout à travers le Québec forestier commercial. Le Réseau de mesure des polluants atmosphériques en milieux agricole et forestier du Québec (REMPAFAQ) ainsi que le Réseau d'échantillonnage des précipitations du Québec (REPQ), tous deux gérés par le ministère de l'Environnement, sont les instruments essentiels à la collecte des données climatiques ainsi que de celles sur la qualité chimique des précipitations et de l'air ambiant.

Le RESEF vient également satisfaire la volonté d'organismes internationaux qui, depuis plusieurs années, préconisent l'établissement de réseaux permanents de surveillance des grandes forêts mondiales, afin de pouvoir recueillir un ensemble de données de références fondamentales qui pourraient permettre de découvrir les causes, mais surtout de proposer des solutions aux problèmes de santé ou de croissance de certains écosystèmes forestiers mondiaux. Ce réseau se joint à d'autres réseaux internationaux de surveillance des écosystèmes forestiers comme les réseaux européens RENECOFOR (ULRICH 1993), ICP FORESTS (www.icp-forests.org), ou en Amérique du Nord, le réseau NAMP (MILLERS et LACHANCE 1989).

[1] www.fao.org/forestry/index.jsp

Objectifs du RESEF

Les principaux objectifs du RESEF sont de :

- fournir une information approfondie sur les caractéristiques intrinsèques des principaux écosystèmes de la forêt québécoise commerciale;
- suivre la dynamique à long terme des écosystèmes forestiers naturels;
- évaluer l'impact des changements climatiques sur l'évolution de ces écosystèmes;
- établir des relations entre les facteurs de stress environnementaux, comme les dépôts atmosphériques ou les changements climatiques, et la réaction de ces écosystèmes;
- prédire, au moyen de la modélisation, l'impact potentiel des opérations sylvicoles comme la récolte sur ces écosystèmes;
- standardiser et décrire les protocoles de mesure ainsi que de valider les bases de données afin de fournir à la communauté scientifique des données validées et documentées.

Description technique

Présentation générale des places d'étude

Trois rapports décrivent en détail l'ensemble de la méthodologie utilisée dans le RESEF (GAGNON *et al.* 1994a, GAGNON *et al.* 1994b, SAINT-LAURENT *et al.* 1995). En 2002, le réseau est constitué de 30 stations permanentes, réparties partout à travers le Québec forestier commercial. Trois sous-zones de végétation sont ainsi explorées; du sud au nord du Québec, on trouve successivement la forêt décidue, la forêt tempérée nordique, puis la forêt boréale continue (Figure 1). Les stations à dominance résineuse ont une superficie d'un quart d'hectare alors que celles à dominance feuillue ont une superficie d'un demi-hectare (GAGNON *et al.* 1994b). Ces stations, protégées à titre de « forêts d'expérimentation et de recherche », sont situées dans des zones qui ont des tenures différentes telles les terres publiques, les parcs, les centres éducatifs forestiers, les réserves écologiques et les propriétés corporatives. Elles sont représentatives du peuplement qui domine le paysage de la région où elles se situent. Le peuplement forestier de la station est d'âge moyen et en pleine croissance. Chaque station est entourée d'une zone de protection de 100 m. Aucune intervention sylvicole n'y est autorisée. Les stations sont situées à au moins 50 km de toutes sources de pollution locale. La plupart se situent à moins de 2 km d'une station de mesure des polluants atmosphériques et d'une station météo. Les mesures destructrices, comme les prélèvements de sol ou de feuillage, sont réalisées dans la zone tampon qui entoure chaque station, tandis que les mesures non destructrices, comme les inventaires écologique ou de régénération ou encore les relevés dendrométriques sont réalisées à l'intérieur même des stations. De plus, trois stations du RESEF ont un statut particulier, car elles font partie d'un monitorage intensif à l'échelle du bassin versant.

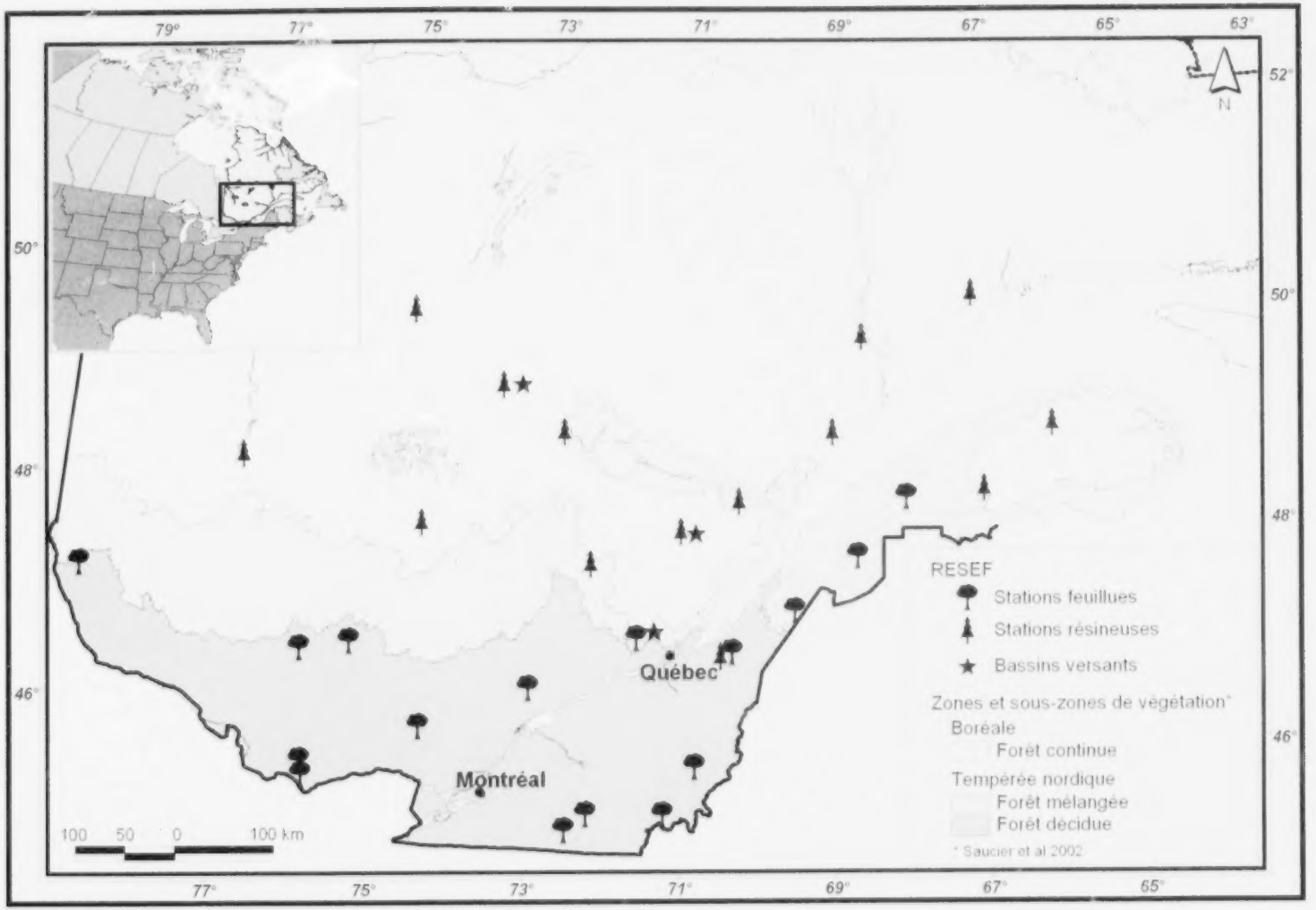


Figure 1. Localisation des stations du Réseau d'étude et de surveillance des écosystèmes forestiers. Le RESEF est un réseau de monitoring de la forêt québécoise commerciale.

Les principales mesures effectuées et la fréquence à laquelle elles sont effectuées

Le RESEF a été conçu de manière à ce que tous les paramètres fondamentaux de l'écosystème forestier soient mesurés et observés selon une méthode standardisée afin de pouvoir en faire un suivi à long terme et ainsi de pouvoir interpréter plus facilement les phénomènes observés. Il s'agit donc du niveau de base de suivi des paramètres observés. Cependant, trois stations font l'objet d'un suivi plus intensif, car elles font partie d'un projet de monitorage de bassin versant.

Le tableau 1 récapitule l'ensemble des mesures effectuées pour chaque niveau d'intensité de suivi ainsi que la périodicité des mesurages.

- *Inventaire phytoécologique*

Lors de l'établissement de la station, un inventaire phytoécologique est réalisé systématiquement à l'intérieur de la placette. Une description de la végétation arbustive, herbacée, muscinale et lichénique est effectuée.

- *Inventaire dendrométrique*

Dans la placette, toutes les tiges de plus de 1,1 cm de diamètre sont identifiées, numérotées et géoréférencées. Les mesures dendrométriques classiques sont prises sur ces mêmes tiges. De plus, cinq arbres localisés dans la zone tampon sont carottés pour déterminer l'âge approximatif du peuplement.

- *Étude dendrochronologique*

Lors de l'établissement de la station, dans la zone tampon de chaque station, 10 arbres de l'espèce dominante et cinq de chaque espèce compagne sont carottés pour réaliser des études de dendrochronologie. Ces données pourront également servir à réaliser des études de dendroclimatologie ou de dendrogéochimie.

- *Caractéristiques de l'habitat et du statut nutritif*

La description des principales caractéristiques de l'habitat renseigne sur les formations géologiques, géomorphologiques et pédologiques de chaque station. Plusieurs pédons sont creusés dans chaque station (quatre dans les stations à dominance résineuse et six dans les stations à dominance feuillue). Chaque horizon du profil de sol est soigneusement décrit et échantillonné. La chimie des horizons ainsi que leur texture sont déterminées au laboratoire. Toutes les autres caractéristiques sont documentées à partir d'observations de terrain (structure, couleur, limites, etc.).

Des échantillons foliaires sont également prélevés afin de connaître l'état nutritif des différents peuplements et de déterminer ses variations en fonction de la fertilité des sols et de son évolution. Ces analyses pourront servir de base lors de la détermination de seuils de carence dans les écosystèmes perturbés. Vingt individus de l'essence dominante et cinq de chaque essence compagne sont prélevés pour effectuer ce suivi. Le prélèvement du feuillage se fait lorsque les arbres sont à leur plein développement et surtout avant les premiers signes automnaux, soit généralement entre le 15 juillet et le 15 août.

Sous-réseaux REMPAFAQ et REPQ

L'apport d'éléments, aussi bien nutritifs qu'acidifiants ou fertilisants, par les précipitations ou les poussières est reconnu comme étant l'un des facteurs qui pourrait modifier le fonctionnement des écosystèmes. Les stations sont jumelées, pour la plupart, à des stations de mesure de polluants atmosphériques (REMPAFAQ) et de données climatiques (REPQ). Ces deux réseaux sont gérés par le ministère de l'Environnement du Québec. Cependant, dans les trois bassins versants étudiés dans le RESEF, ces mêmes données sont recueillies par nos propres installations (Tableau 1). Jusqu'à maintenant, seules les dépositions humides sont prises en compte.

Validation des données

Il est primordial dans la gestion d'un réseau qui réunit autant de disciplines et de mesures d'effectuer une gestion efficace des données. Toutes les données sont informatisées et stockées dans des bases de données. Ces données doivent être validées et documentées. Il est également important de bien documenter la méthodologie de prise de mesures ainsi que celle de validation.

Résultats récents

Près de 60 % des stations du réseau reçoivent des précipitations acides qui dépassent la capacité des sols à les tamponner. Une faible fertilité des sols, combinée à des apports atmosphériques en oxydes de souffre et d'azote importants, peuvent être à l'origine de cette surcharge d'acidité. Les auteurs remarquent que cette dernière est négativement corrélée à la productivité des forêts (Ouimet *et al.* 2002). Duchesne *et al.* (2001) montrent, dans une étude effectuée dans les quatorze érablières du réseau, que plus les sols sont acides, plus la croissance des arbres est faible. Cette acidification des sols est en partie causée par les pluies acides.

Certains des résultats obtenus au Québec se comparent à ceux observés en Europe, par le réseau ICP Forests (Lorenz *et al.* 2002). En effet, les auteurs montrent qu'il existe une relation significative entre la défoliation observée chez le pin sylvestre et le hêtre et le souffre apporté par les dépôts atmosphériques.

Conclusion

Il y a 10 ans, les participant à la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement (CNUED), qui s'est tenue à Rio de Janeiro, au Brésil, ont pris l'engagement d'œuvrer en vue d'assurer la gestion durable, la conservation et le développement de tous les types de forêts. Le RESEF qui est une initiative québécoise de suivi de l'écosystème forestier naturel, s'inscrit en droite ligne dans cette nouvelle approche de gestion de la forêt. En permettant une meilleure connaissance des caractéristiques intrinsèques des écosystèmes forestiers, mais également en permettant d'essayer de mieux comprendre les impacts des activités humaines sur ces écosystèmes, les réseaux de monitorage tel le RESEF, trouvent leur pertinence.

Tableau 1. Aperçu des mesures effectuées au sein du Réseau d'étude et de surveillance des écosystèmes forestiers et périodicité à laquelle ces mesures sont réalisées.

Mesures effectuées	Fréquence de mesurage
Pour l'ensemble du RESEF (niveau 1 d'intensité d'échantillonnage)	
Description géographique des places d'étude	Tous les 10 ans
Identification, numérctation et positionnement de toutes les tiges de plus de 1,1 cm de diamètre	Tous les 5 ans
Diamètre, hauteur, hauteur du fût, hauteur et diamètre de la cime	Tous les 5 ans
Relevé des défauts de la tige	Tous les 5 ans
Inventaire phytoécologique	1 fois, lors de l'établissement
Inventaire de la régénération	Tous les 5 ans
Dendrochronologie	1 fois, lors de l'établissement
Analyses foliaires (macro et micro- éléments)	Tous les 5 ans
Description pédologique	1 fois, lors de l'établissement
pH, macro et micro-éléments totaux et échangeables	Tous les 5 ans
Structure des horizons de sol	Tous les 5 ans
Texture des horizons de sol	1 fois, lors de l'établissement
Dans les trois bassins versants (niveau 2 d'intensité d'échantillonnage)	
Données météorologiques standards	Toutes les heures
Analyses des précipitations (dépôts humides : pH, K, Ca, Mg, Mn, SO_4, Na, Cl, NH_4, NO_x)	Tous les jours
Chimie de l'eau dans l'ensemble du bassin versant	Toutes les semaines
Récolte et analyses chimiques de la litière	Tous les ans

Ouvrages cités

DUCHESNES, L., R. OUIMET et D. HOULE, 2001. *Basal area growth of sugar maple in relation to acid deposition, stand health, and soil nutrients.* J. Environ. Qual. 31 : 1676-1683.

GAGNON, G., C. GRAVEL, R. OUIMET, N. DIGNARD, R. PAQUIN et G. ROY, 1994a. *Le réseau de surveillance des écosystèmes forestiers (RESEF). I - Définitions et méthodes.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles[1]. Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 115.

GAGNON, G., C. GRAVEL, R. OUIMET, N. DIGNARD, R. PAQUIN et J. JACQUES, 1994b. *Le réseau de surveillance des écosystèmes forestiers (RESEF). II - Description des places d'étude et de données de base.* Gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles. Mémoire de recherche forestière n° 116.

LORENZ, M., V. MUES, G. BECHER, W. SEIDLING, R. FISHER, D. LANGOUCHE, D. DURRANT et U. BARTELS. 2002. *Forest Condition in Europe.* Results of the 2001 Large-Scale Survey. 2002 Technical Report, UNECE and EC, Geneva and Brussels. 158 p.

MILLERS, I. et D. LACHANCE. 1989. *North American sugar maple decline project - Cooperative field manuel.* U.S. Department of Agriculture, Forest Service and Forestry Canada.

OUIMET, R., L. DUCHESNES, D. HOULE et P.A. HARP, 2001. *Critical loads and exceedances of acid deposition and forest growth in the northern hardwood and boreal coniferous forests in Québec, Canada.* WASP : 119-134.

SAINT-LAURENT, S., C. CAMIRE, et R. OUIMET, 1995. *Méthodologie d'échantillonnage des sols du Réseau de surveillance des écosystèmes forestiers (RESEF) et préparation des échantillons pour fins d'analyses.* Gouvernement du Québec. Ministère des Ressources naturelles. Rapport interne n° 398.

ULRICH, E., 1993. *Réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers - Brève description.* Office national des forêts, Nancy.

[1] Depuis le 29 avril 2003, le ministère des Ressources naturelles du Québec (MRN) est désigné sous la nouvelle appellation de ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec (MRNFP).

2003-3116

ISBN 2-550-41833-6
Dépôt légal 2003
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada
© 2003 Gouvernement du Québec

Ressources naturelles, Faune et Parcs
Québec

The Québec Forest Ecosystems Research and Monitoring Network

Research Note
Tabled at the XII World Forestry Congress – Québec, Canada 2003,
by the Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec

September 2003

Direction de la recherche forestière (Forest Research Branch)

The Québec Forest Ecosystems Research and Monitoring Network

by

Catherine Périé[1] and Rock Ouimet[2]

Research Note
Tabled at the XII World Forestry Congress – Québec, Canada 2003,
by the *Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec*

Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec (MRNFP)
Direction de la recherche forestière (Forest Research Branch)
2700, rue Einstein
Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
CANADA

Telephone: (418) 643-7994
Fax: (418) 643-2165

catherine.perie@mrnfp.gouv.qc.ca
rock.ouimet@mrnfp.gouv.qc.ca

www.forestrycongress.gouv.qc.ca
www.mrnfp.gouv.qc.ca

---

[1] Biologist, Ph.D.
[2] Forest Engineer, Ph.D.

Abstract

Québec has 2% of the world's forests, of which more than half are located in the boreal forest. Québec's boreal zone makes up almost 10% of the world's boreal forest. Therefore, monitoring the health of this forest is of great importance because of its representativeness, and also because the boreal forest is very vulnerable to environmental changes.

At the end of the 1980s, the Québec government was concerned about maple dieback, and decided to establish a research and monitoring network (RESEF) in the commercial forest range in Québec. This network is now composed of 30 research plots spread throughout Québec's principal forest ecosystems. Permanently established in the commercial forest area and present in many ecological regions, the plots are placed in protected zones; no human intervention other than harvesting samples for research purposes is authorized.

A set of variables that are characteristic of different forest ecosystem attributes are measured periodically. Examples are phytoecological and regeneration inventories, dendrometric attributes, foliar analyses and soil fertility measurements. Regular gathering of data allows for the documentation of characteristics that are intrinsic to each ecosystem and the study of their natural dynamics. It also permits the monitoring of the impact of environmental changes on the evolution of these natural ecosystems, such as climate change or the chemistry of atmospheric depositions.

Researchers working at the network have shown that more than half the RESEF plots receive acidic atmospheric depositions that surpass the buffering capacity of the soil. The results are discussed with regard to the natural fertility of the plots and the acid load.

Keywords: Monitoring, temperate and boreal forest, forest ecosystems

Introduction

"Reinforce the well-being of populations by practising sustainable management of the world's trees and forests," is the mission that the United Nations' Food and Agriculture Organization gave itself[3]. To attain this objective, it is extremely important to know the intrinsic characteristics of the world's forest ecosystems, as well as how human activities affect them.

Québec's forests make up 2% of the world's forests. More than half of Québec's forests lie within the boreal forest, and make up almost 10% of the world's boreal forests. Monitoring the health of this forest is therefore of great importance because of its representativeness, and equally, because the boreal forest is vulnerable to environmental changes, especially to climate change and atmospheric pollution. At the end of the 1980s, because of growing concerns with environmental stresses and commitments by the Québec government and the forest industry to sustainable forest management, a network (the RESEF) was established to monitor the health of forest ecosystems. Its main purpose is to gather long-term, objective information on the climate, the nutritional status of forest stands, and air quality. By monitoring, forest scientists want to be capable of detecting long-term changes among a certain number of key parameters, determine the size of the changes and the impact they could have on the health of Québec's forests. This network of permanent plots has a life span of at least 30 years. The first plots were established in 1987, following the observation of maple dieback in southern Québec. Since then, new research plots have been regularly added to the network, which now has 30 in operation, established everywhere in Québec's commercial forests. The network to measure atmospheric pollution in agricultural and forestry environments (REMPAFAQ), as well as the Québec Precipitation Sampling Network (REPQ), both administered by the *Ministère de l'Environnement du Québec*, are essential tools for the collection of data on the climatic and chemical characteristics of precipitation and the ambient air.

The RESEF also aims at satisfying international organizations which, for several years, have promoted the establishment of permanent monitoring networks in the world's forests. This is to be able to gather a set of basic reference data that could assist in discovering the causes, but especially to propose solutions, for the problems of forest health or growth of some world forest ecosystems. This network is similar to other international forest ecosystem monitoring networks, such as the European networks RENECOFOR (Ulrich 1993), ICP FORESTS (www.icp-forests.org) or in North America, the NAMP network (Millers and Lachance 1989).

Objectives of the Research and Monitoring Network

The main objectives of the RESEF are to:

- supply more complete information on the intrinsic characteristics of the principal commercial forest ecosystems in Québec;

3 www.fao.org/forestry/index.jsp

- monitor the long-term dynamics of natural forest ecosystems;
- evaluate the impact of climate change on the evolution of ecosystems;
- establish the relationships between environmental stress factors, such as atmospheric deposition or climate change, and the reaction of these ecosystems;
- predict the potential impact of silvicultural operations such as harvesting on these ecosystems, using models;
- standardize and describe the measurement protocols and validate the databases in order to furnish the scientific community with valid and documented data.

Technical description

General description of research plots

Three reports describe in detail the overall methodology used in the RESEF (Gagnon et al. 1994a, Gagnon et al. 1994b, Saint-Laurent et al. 1995). In 2002, the network was composed of 30 permanent plots, distributed throughout Québec's commercial forests. Three vegetation sub-zones are covered: from southern Québec towards the north, one finds successively the deciduous forest, the northern temperate forest, then the continuous boreal forest (**Figure 1**). Plots dominated by conifers have an area of 0.25 hectare and those where hardwoods predominate are 0.5 hectare in area (Gagnon et al. 1994b). These plots, protected as "experimental research forests" are located in zones of public lands, parks, forestry education centres, ecological reserves and cooperative properties. They are representative of the stands that dominate the landscape where they are located, are of medium age and in full growth. Each plot is circled with a 100 m buffer zone. No silvicultural intervention is authorized. The plots are established at least 50 km from all local pollution sources. Most are located less than 2 km from an atmospheric pollution plot and a meteorological station (REMPAFAQ). Destructive measurements, such as soil and foliage samples, are taken in the buffer zone that circles each plot, whereas non-destructive measurements, such as ecological, regeneration or dendrometric surveys are carried out within the plot boundaries. Three RESEF plots have a special status as part of an intensive monitoring project at the watershed scale.

Main measurements and frequency of remeasurement

The RESEF was designed so that all the basic parameters of a forest ecosystem could be measured and observed using a standardized method, to be able to do long-term monitoring and thus be able to more easily interpret the observed phenomena. It therefore consists of a basic level of observed parameters. However, three plots are part for more intensive monitoring, as part of a watershed monitoring project.

Table 1 summarizes the measurements carried out at each monitoring intensity, as well as the measurement frequency.

- *Phytoecological survey*

While establishing the plot, a phytoecological survey is systematically carried out in the plot, consisting of a description of the shrub, herbaceous, muscinal and lichen layers.

- *Dendrometric survey*

In the plot, all stems greater than 1.1 cm in diameter are identified, numbered and georeferenced. Standard dendrometric measurements are taken on the same stems. Also, five trees in the buffer zone are increment cored to determine the approximate age of the stand.

- *Dendrochronology and geochemistry research*

In the buffer zone, 10 trees of the dominant species and five of each companion species were increment cored to carry out dendrochronological studies. These data could also be used to carry out dendroclimatogical or denrogeochemical studies.

- *Habitat and nutritional status characteristics*

The description of the main habitat characteristics provide information on the geological, geomorphological and pedologic formations of each plot. Several soil pits are dug in each plot (four in conifer-dominated plots and six in hardwood-dominated plots). Each horizon of the soil profile is carefully described and sampled. In the laboratory the chemistry and texture of the horizons is determined. All other characteristics are documented from field observations (structure, limits, etc.).

Foliar samples are also taken in order to determine the nutritional status of the different stands and to see if there are variations in relation to the soil's fertility and evolution. These analyses could serve as a basis when determining deficit thresholds in disturbed ecosystems. Twenty trees of the dominant species and five of each companion species are sampled for this monitoring. Foliage sampling in deciduous plots is done when the trees are at their fullest development, especially before the first signs of autumn are initiated, generally between July 15 and August 15. Coniferous plots are sampled in the late fall during dormancy.

REMPAFAQ and REPQ sub-networks

The input of elements, nutritional and acidifying or fertilizing, by precipitation or dust is acknowledged as being one of the factors that could modify ecosystem function. Most of the plots are twinned to plots that measure atmospheric pollutants (REMPAFAQ) and climatic data (REPQ). Up to now, only wet depositions are taken into account. These two networks are administered by the *Ministère de l'Environnement du Québec*. However, in the three watersheds studied in the RESEF, the same data are gathered by our own installations (**Table 1**).

Data validation

When managing a network that connects so many disciplines and measurements, it is paramount to efficiently manage the data. All data are computerized and saved in databases. The data must be validated and documented. It is also important to document well the sampling and validation methodologies.

Recent results

Nearly 60% of the plots in the network receive acid precipitation that exceeds the capacity of the soil to buffer them. Poor soil fertility, combined with a large atmospheric deposition of sulphur and nitrogen oxides, are the cause of this acidic overload. The authors notice that the latter is negatively correlated to forest productivity (Ouimet et al. 2002). Duchesne et al. (2001) show that in a study carried out in fourteen deciduous stands in the network that the more acid the soils, the slower is tree growth. This soil acidification is caused in part by acid deposition.

Some of the results obtained in Québec are comparable to those observed in Europe in the ICP Forests network (Lorenz et al. 2002). The authors show that a significant relationship exists between defoliation observed in Scots pine and beech, and the deposition of atmospheric sulphur.

Conclusion

Ten years ago, participants at the United Nations Conference on the Environment and Development (UNCED), held at Rio de Janeiro, made a commitment to work to ensure sustainable management, the conservation, and the development of all types of forests. The RESEF, which is Québec's natural forest ecosystem monitoring initiative, fits directly within this new approach to forest management. Monitoring networks such as the RESEF are relevant because they improve our knowledge of inherent forest ecosystem characteristics, and equally, by assisting us to better understand the effects of human activities on these ecosystems.

Literature cited

Duchesnes, L., R. Ouimet and D. Houle. 2001. Basal area growth of sugar maple in relation to acid deposition, stand health, and soil nutrients. J. Environ. Qual. 31:1676–1683.

Gagnon, G., C. Gravel, R. Ouimet, N. Dignard, R. Paquin, and G. Roy. 1994a. Le réseau de surveillance des écosystèmes forestiers (RMN). I - Définitions et méthodes. Mémoire de recherche forestière n° 115. Gouvernement du Québec.

Ministère des Ressources naturelles du Québec.[4] Direction de la recherche forestière, Québec.

Gagnon, G., C. Gravel, R. Ouimet, N. Dignard, R. Paquin and J. Jacques. 1994ba. Le réseau de surveillance des écosystèmes forestiers (RMN). II - Description des places d'étude et de données de base. Mémoire de recherche forestière n° 116. Gouvernement du Québec. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Québec.

Lorenz, M., V. Mues, G. Becher, W. Seidling, R. Fisher, D. Langouche, D. Durrant and U. Bartels. 2002. Forest Condition in Europe. Results of the 2001 Large-Scale Survey. 2002 Technical Report. UNECE and EC, Geneva and Brussels. 158 p.

Millers, I., and D. Lachance. 1989. North American sugar maple decline project - Cooperative field manual. U.S. Department of Agriculture Forest Service and Forestry Canada.

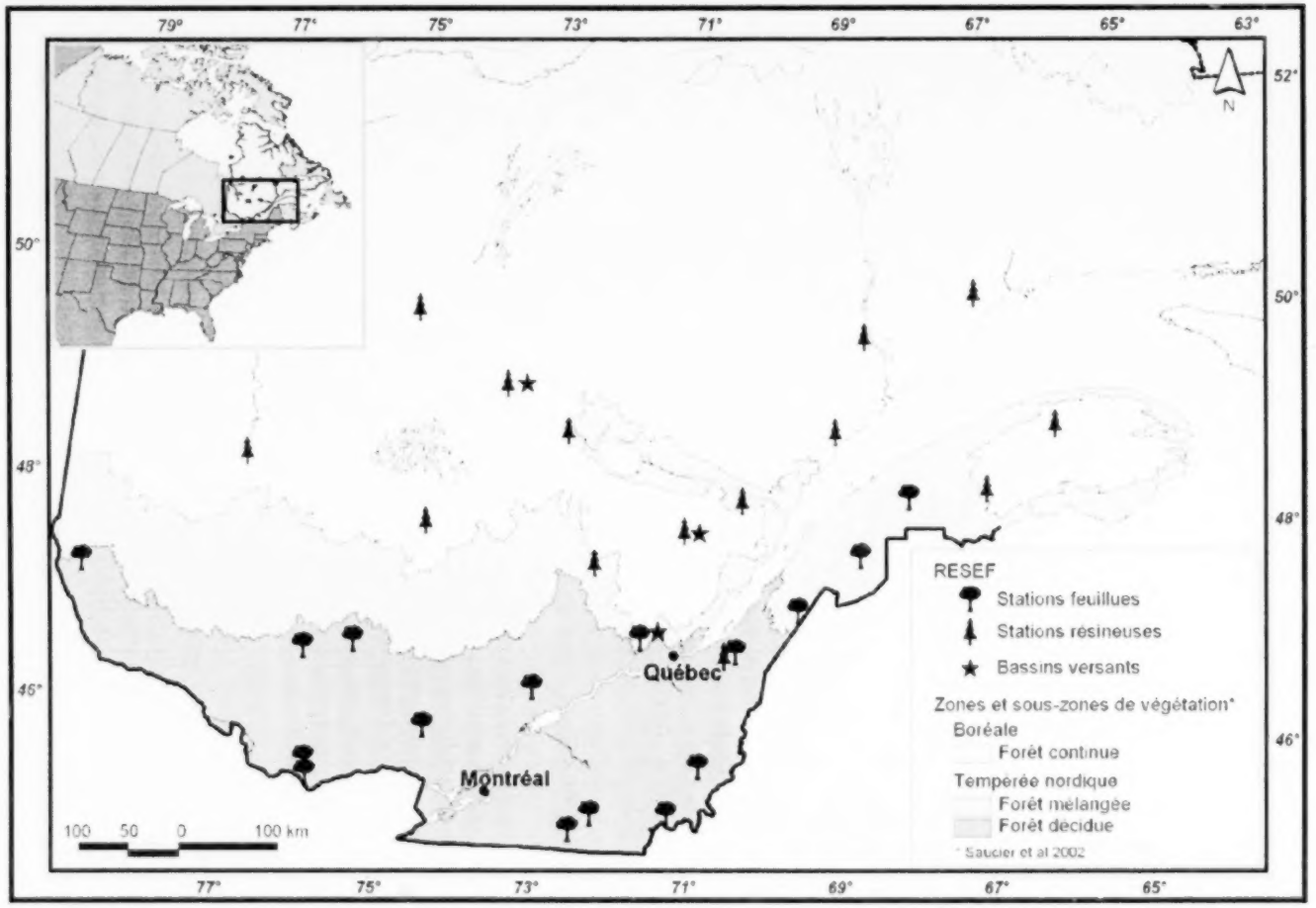
Ouimet, R., L. Duchesnes, D. Houle and P.A. Harp. 2001. Critical loads and exceedances of acid deposition and forest growth in the northern hardwood and boreal coniferous forests in Québec, Canada. WASP:119–134.

Saint-Laurent, S., C. Camire, and R. Ouimet. 1995. Méthodologie d'échantillonnage des sols du Réseau de surveillance des écosystèmes forestiers (RESEF) et préparation des échantillons pour fins d'analyses. Rapport interne n° 398. Gouvernement du Québec. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Québec.

Ulrich, E. 1993. Réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers - Brève description. Office national des forêts. Nancy, France.

[4] On April 29, 2003 the *Ministère des Ressources naturelles du Québec* (MRN) became the *Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec* (MRNFP).

Figure 1. Location of plots in the Research and Monitoring of Forest Ecosystems Network. The RESEF network monitors Québec's commercial forests.



LEGEND: **RESEF**: Hardwood plots, Softwood plots, Watersheds;
Vegetation zones and sub-zones*: ***Boreal***: Continuous forest; ***Northern Temperate***: Mixedwood forest, Deciduous forest (* Saucier et al 2002)

Table 1. Overview of measurements taken in the Québec Research and Monitoring of Forest Ecosystems Network and the frequency of measurements.

Measurements	Frequency
For the entire RESEF (level 1 sampling intensity)	
Geographic description of research plots	Every 10 years
Identification, numbering and positioning of all stems greater than 1.1 cm in diameter	Every 5 years
Diameter, height, stem height, height and diameter of the crown	Every 5 years
Survey of stem defects	Every 5 years
Phytoecological inventory	Once, at time of establishment
Regeneration inventory	Every 5 years
Dendrochronology	Once, at time of establishment
Foliar analyses (macro and micro elements)	Every 5 years
Soils description	Once, at time of establishment
pH, total and exchangeable macro- and micro-elements	Every 5 years
Structure of soil horizons	Every 5 years
Texture of soil horizons	Once, at time of establishment
In three watersheds (level 2 sampling intensity	
Standard meteorological data	Hourly
Analyses of precipitation (wet deposits: pH, K, Ca, Mg, Mn, SO_4, Na, Cl, NH_4, NO_x)	Daily
Water chemistry in the overall watershed	Weekly
Gathering and chemical analyses of litter	Yearly